

**Veleučilište u Karlovcu**

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički studij sigurnosti i zaštite

Barbara Marija Škvorc

**APARATI U RADIOLOŠKOJ DIJAGNOSTICI I NJIHOV  
UTJECAJ NA ZDRAVLJE LJUDI**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2019.

**Karlovac University of Applied Sciences**

Safety and Protection Department

Professional undergraduate study of Safety and Protection

Barbara Marija Škvorc

**DEVICES IN RADIOLOGICAL DIAGNOSIS AND THEIR  
INFLUENCE ON HEALTHY PEOPLE**

FINAL PAPER

Karlovac, 2019.

**Veleučilište u Karlovcu**

Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički studij sigurnosti i zaštite

Barbara Marija Škvorc

**APARATI U RADIOLOŠKOJ DIJAGNOSTICI I NJIHOV  
UTJECAJ NA ZDRAVLJE LJUDI**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc., Slaven Lulić, v.pred.

Karlovac, 2019.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Trg J.J. Strossmayera 9

HR-47000, Karlovac, Croatia

Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510

Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

Stručni / specijalistički studij: Specijalistički studij sigurnosti i zaštite

(označiti)

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, ožujak 2019.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Barbara Marija Škvorc

Matični broj: 0422417029

Naslov: Aparati u radiološkoj dijagnostici i njihov utjecaj na zdravlje ljudi

Opis zadatka: U završnom radu bit će objašnjen rad medicinskih uređaja koji se koriste u nuklearnoj medicini. Također će se razmatrati djelovanje ionizirajućeg zračenja na pacijenta i na medicinsko osoblje te kako ih zaštititi prilikom pretraga.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

Ožujak, 2019.

Lipanj, 2019.

Srpanj, 2019.

Mentor:

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

dr.sc., Slaven Lulić, v.pred.

Ivan Štedul, prof.

## **Zahvale**

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći se navedenim izvorima podataka i stečenim znanjem za vrijeme studija.*

*Zahvaljujem svom mentoru dr.sc., Slavenu Luliću, v.pred. na ukazanom povjerenju i pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada.*

*Zahvaljujem se svojim kolegama te kolegicama na podršci, razumijevanju i strpljenju iskazanom tijekom studiranja.*

*I na kraju posebno zahvaljujem svojim roditeljima, braći, baki i dečku koji su uvijek bili uz mene i bez kojih sve ovo što sam dosad postigla ne bi bilo moguće.*

## **SAŽETAK**

Ovim završnim radom nastoji se objasniti rad medicinskih uređaja koji se koriste u nuklearnoj medicini. Također će se razmatrati djelovanje ionizirajućeg zračenja na pacijenta i medicinsko osoblje, koje su moguće posljedice te bolesti i kako ih zaštititi prilikom pretraga.

Ključne riječi: rendgenski uređaji, ionizirajuće zračenje, zaštita od zračenja

## **SUMMARY**

This final work attempts to explain the work of medical devices used in nuclear medicine. It will also consider the effects of ionizing radiation on the patient and the medical staff, which are the possible consequences of the disease and how to protect them during the search.

Key words: X-ray devices, ionizing radiation, radiation protection

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. JEDINICE ZA MJERENJE ZRAČENJA I DOZE U DIJAGNOSTIČKOJ I INTERVENCIJSKOJ RADIOLOGIJI.....	5
3. RENDGENSKI UREĐAJI .....	7
3.1. Ultrazvučna dijagnostika .....	8
3.2. Angiografija i intervencijska radiologija .....	10
3.3. Kompjutorska tomografija (CT) .....	12
3.4. Magnetska rezonancija .....	13
4. NEPOŽELJNO DJELOVANJE ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI .....	15
4.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma .....	16
4.2. Stohastički i deterministički učinci ionizirajućeg zračenja .....	18
4.3. Posljedica izlaganja ionizirajućem zračenju .....	19
4.4. Kasni i ostali učinci zračenja .....	20
5. AKUTNA RADIJACIJSKA BOLEST .....	22
6. PREVENCIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA .....	25
6.1. Osobna zaštita sredstva.....	26
6.2. Zakonski propisi o zaštiti od zračenja .....	28
7. ZAKLJUČAK .....	30
LITERATURA.....	32
POPIS SLIKA .....	33
POPIS TABLICA.....	34

# 1. UVOD

**Radiologija** jest znanost o zračenju, dok medicinska radiologija podrazumijeva primjenu zračenja u dijagnostici i u liječenju bolesti. U početku je medicinska radiologija bila grana medicine koja je primjenjivala samo rendgenske zrake za dobivanje slike unutrašnjosti tijela na filmu ili rendgenskom ekranu [1]. Sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća slijedi uzlet otkrićem principa kompjutorizirane tomografije te zatim uvođenjem angiografske dijagnostike pojedinih organa, ultrazvuka, kao i kontrastnih metoda. Potkraj osamdesetih godina pa se do danas, intervencijska radiologija se intenzivno razvija. Intervencijska radiologija je grana radiologija u kojoj se uporabom zraka obavljaju brojni dijagnostički i terapijski zahvati.

Sva zračenja u prirodi, s obzirom na količinu energije koju nose, dijelimo na ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Ionizirajuće zračenje je ono zračenje koje ima dovoljno veliku energiju da električki neutralne atome razbijaju na ione, pritom izbijajući iz atoma jedan elektron. Među njima najčešće se u medicini upotrebljavaju elektromagnetske ionizirajuće zrake odnosno rendgenske i gama zrake. Rendgenske zrake je 8. studenog 1895. otkrio njemački profesor fizike Wilhelm Conrad Röntgen koji je istraživao svojstva staklenih cijevi u koje su bile ugrađene elektrode i djelomično odstranjen zrak. Kada je takve elektrode priključio na visoki napon električne struje, fotografska ploča u blizini cijevi je pocrnjela, dok su neki kristali u okolini svjetlucali. Daljnjim je istraživanjem otkrio da na fotografskoj ploči i ekranu s pomoću novih zraka može dobiti sliku predmeta postavljenog u neprozirnu kutiju.

Röntgen je prvi shvatio da te pojave mogu protumačiti samo nekom novom vrstom zraka koje nastaju prolazom električne struje kroz djelomično evakuiranu cijev, koje su nevidljive i spremne da prodiru kroz neprozirne materijale. Te zrake je Röntgen nazvao „X“ zrake, zbog toga su naknadno njemu u čast bile nazvane Röntgenovim zrakama.



Danas u radiologiji postoji podjela s obzirom na metodu pregleda:

- rendgensko snimanje,
- dijaskopija,
- kontrastna dijagnostika,
- kompjutorizirana tomografija,
- ultrazvučna dijagnostika

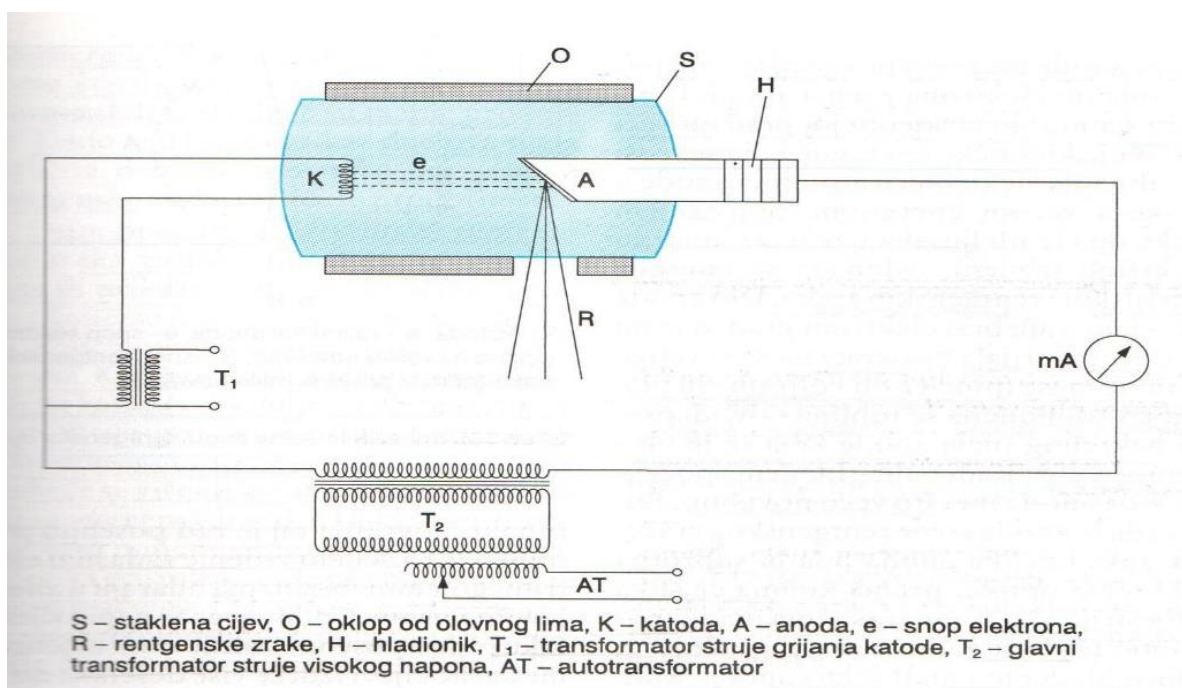
Tablica 1. Spektar elektromagnetskih valova u prirodi [1]

FREKVENCIJA	$10^{-1}$ - $10^4$	$10^5$ - $10^{11}$	$10^{12}$ - $10^{13}$	$10^{14}$ - $10^{15}$	$10^{15}$ - $10^{16}$	$10^{17}$ - $10^{18}$	$10^{19}$ - $10^{22}$
ELEKTROMAGNETSKI VALOVI	električni	radio i TV	infracrveni	vidljiva svjetlost	ultraljubičasti	rendgenski	gama i kozmički
VALNE DULJINE (u cm)	$10^{11}$ - $10^6$	$10^6$ - $10^{-1}$	$10^{-1}$ - $10^{-4}$	$10^{-4}$ - $10^{-5}$	$10^{-5}$ - $10^{-6}$	$10^{-6}$ - $10^{-10}$	$10^{-10}$ - $10^{-12}$

Rendgenske zrake nastaju u rendgenskoj cijevi. One su dio spektra elektromagnetskih valova u prirodi, a od njih se razlikuju po svojoj valnoj duljini i frekvenciji [1]. Valovi rendgenskih zraka su vrlo kratki dok im je frekvencija velika te zbog toga rendgenske zrake imaju veliku energiju koja im omogućuje prodiranje kroz tkiva. Rendgenske zrake u tkivu izazivaju različite promjene od kojih je najvažnija ionizacija neutralnih atoma.

Rendgenske zrake nastaju u vakumiranoj cijevi naglim kočenjem brzih elektrona pri njihovom sudaru s nekom zaprekom. Brzi elektroni nose veliku količinu kinetičke energije koja se pri sudaru prenosi na atome od kojih je izgrađena zapreka i izbija elektrone iz njihova omotača. Tako nastaju prazne elektronske ljuske, koje se popunjavaju iz vanjskih, energijski bogatijih ljusaka. Prelaskom u ljuske niže energijske razine, ti elektroni predaju višak energije okolini.

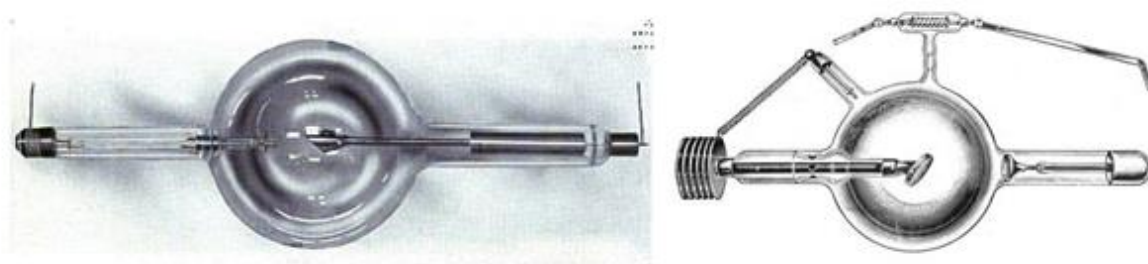
Najveći dio tako oslobođene energije emitira se u obliku toplinskih zraka, a samo mali dio u obliku elektromagnetskih valova koji po svojoj valnoj duljini i frekvenciji odgovaraju rendgenskim zrakama. Takav se princip kočenja brzih elektrona primjenjuje pri konstrukciji rendgenskih cijevi [1].



Slika 1. Shematski prikaz rada rendgenske cijevi

Izvor: Hebrang Andrija, Lovrenčić Marijan: „Radiologija“

**Rendgenska cijev** je izvor rendgenskog zračenja u rendgenskim uređajima i strojevima. Danas se upotrebljavaju rendgenske cijevi s užarenom katodom, koje su mnogo učinkovitije u emitiranju elektrona od hladne katode u ionskim cijevima, kao što su bile Crookesova cijev ili Coolidgeova cijev.



Slika 2. Usporedba Coolidgeove rendgenske cijevi i Crookesove cijevi

Izvor: [https://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenska\\_cijev](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rendgenska_cijev)

Elektronička rendgenska cijev sadrži dvije elektrode; katodu i anodu. U cijevi postoji vakuum visoka stupnja. Katoda se grije pomoću električne struje, užari se i otpušta slobodne elektrone. Izrađena je od spiralne niti volframa koja ima visoko talište  $3422\text{ }^{\circ}\text{C}$  te zbog toga ne dolazi do prevelikog isparavanja katode kod radnih temperatura od  $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Radi se u području između  $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$  te time omogućuje trajanje rendgenskih cijevi do 4000 radnih sati.

Izvor struje za katodu je gradska električna mreža, pri čemu se struja transformira u niskonaponskom transformatoru. Nastaje struja napona  $10 - 12$  volti i jakosti nekoliko stotina miliampera. Ta niskonaponska struja grije spiralu katode, a procesom termoionizacije oslobađaju se elektroni u količini koju možemo regulirati mijenjanjem jačine struje za grijanje katode. Iz zavojnice elektroni bivaju usmjereni u usko žarište pomoću žarišne elektrode prema anodi. Elektroni oslobođeni s katode lebde u njenoj okolini, uključanjem cijevi na struju visokog napona, koja se dovede između katode i anode, elektroni se pokreću i ubrzavaju prema anodi koja je električki pozitivna pa ih privlači. U sudaru s anodom elektroni joj predaju veći dio svoje kinetičke energije koja se troši na izbijanje elektrona u atomima anode u ljuske s većom energijom. Spuštanjem elektrona iz tih ljusaka u niže, iz kojih su elektroni izbijeni, oslobađa se energija toplinskih i rendgenskih zraka. Volframska anoda se zagrijava na temperaturu do  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , do se bakrena anoda zagrijava do  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ako se rendgenskome cijevi žele postići veće energije zračenja tada se mora uz veće dimenzije anode odvoditi toplinu kako se ta ista anoda ne bi pregrijala i rastalila. Oslobođena se toplina odvodi preko bakrenog tijela anode koja se hladi najčešće protokom ulja ili vode u zatvorenom rashladnom sustavu.

## 2. JEDINICE ZA MJERENJE ZRAČENJA I DOZE U DIJAGNOSTIČKOJ I INTERVENCIJSKOJ RADIOLOGIJI

Za uspostavu pravila prevencije i zaštite mora se odraditi mjerenje količine radijacije i bioloških posljedica u tkivu. Prve doze su definirane prema vidljivim posljedicama zračenja na koži. Pojavila se bila eritemska doza za koju su uspostavili da nastaje zbog velike količine zračenja koja je uzrokovala crvenilo kože. Ubrzo se spoznalo kako je to prevelika količina zračenja da bi se smatrala jediničnom. U praktičnoj su primjeni dva sustava jedinica za mjerenje zračenja. Općenito mjerimo dozu izloženosti zračenju (ili ekspozicijsku dozu), apsorbiranu dozu, ekivalentnu dozu te posebno dozu zračenja radioaktivnih izotopa.

*Za ekspozicijsku dozu;* dozu kojoj je čovjek izložen, prije je vrijedila jedinica 1 rendgen (1r), a sada se upotrebljava jedinica 1 C/kg. Jedinica je definirana kao broj iona oslobođenih pri zračenju neke mase tkiva. Jedinična je mjera ona količina zračenja koja u masi tkiva od 1 kg oslobodi količinu iona od 1 kulona.

Odnos nove i stare jedinice je:

- $1 \text{ r} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$
- $1 \text{ C/kg} = 3,876 \text{ r}$

*Apsorbirana doza zračenja* izražava se kao količina apsorbirane energije na određenu masu tkiva. Stara jedinica je bila 1 rad, a trenutno se upotrebljava jedinica 1 Gy (Gray) koja označuje dozu zračenja kod koje se apsorbira količina energije od 1 J i masi tkiva od 1 kg.

Odnos nove i stare jedinice:

- $1 \text{ Gy} = 102 \text{ rada}$
- $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$

U radiološkoj se literaturi najčešće upotrebljavaju ekspozicijske doze koje se mjere dozimetrima, ili se izračunavaju apsorbirane doze. Doza zračenja ovisi o vrsti pretrage, širini potrebnog rendgenskog snopa o kojemu ovisi i volumen ozračenog dijela tijela te o električnim uvjetima snimanja (mA i kV) koji određuju intenzitet i prodornost zraka.

Kod doza izloženosti se podrazumijeva ulazna doza na mjesto ulaza rendgenskog snopa u kožu. Najvažnije je pri prosvjetljavanju skratiti vrijeme zračenja te suziti širinu rendgenskog snopa na najmanju moguću dimenziju koja nam omogućuje promatranje određenog organa. Doze kod rendgenskog snimanja znatno su manje nego pri prosvjetljavanju, ali ipak kod nekih snimaka mogu biti visoke. Doze su u primarnom snopu ograničene postojećim međunarodnim propisima, te prema tim propisima daju se preporučene referencijske vrijednosti. Svaki radiolog je dužan pridržavati se tih doza te ih mora provjeravati.



Slika 3: Dozimetar

Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Dozimetar>

### 3. RENDGENSKI UREĐAJI

Cilj rada rendgenskih uređaja je da se rendgensko zračenje upotrebljava tako da se dobije dovoljno dobra dijagnostička informacija, odnosno slika uz što manje ozračenje pacijenta i radnika. Svaki rendgenski uređaj se sastoji od: rendgenske cijevi, stola za pregled pacijenata, generatora visokog napona, upravljačke jedinice, visokonaponskih kablova te stativa. Postoje dvije vrste dijagnostičkih postupaka korištenjem rendgenskog zračenja.

Radiografija je rendgensko zračenje kod kojeg se upotrebljavaju filmovi na kojima se kao trajne slike bilježe prolasci rendgenskog zračenja kroz neki dio tijela pacijenta koji se kasnije analiziraju. Druga vrsta dijagnostičkog postupka je dijaskopski pregled koji služi za pregled pacijenta u nekom realnom vremenu, odnosno za ispitivanje funkcionalnih i dinamičkih značajki koje se vide na zaslonu uređaja nakon što se selektivno apsorbirane rendgenske zrake nakon prolaska kroz tijelo zaustave na istom. Rendgenski uređaji se moraju redovito kontrolirati i servisirati.



Slika 4. Dijelovi rendgenskog uređaja

Izvor: <http://www3.gehealthcare.in/en/products/categories/radiography>

### 3.1. Ultrazvučna dijagnostika

Ultrazvuk su u medicini prvi puta 1942. godine primijenila braća Dussik. Zatim su 1957. godine Jan Donald i T.Brown konstruirali prvi ultrazvučni aparat s izdvojenom sondom, što je omogućilo primjenu na pacijentu. Od tada se ultrazvuk počinje primjenjivati u svim granama medicine. Ultrazvuk je metoda oslikavanja unutarnjih organa koja se temelji na principu refleksije zvučnih valova. Ultrazvuk je mehanička vibracija vrlo visoke frekvencije, koja prelazi prag čujnosti ljudskog uha, a iznosi više od 20 kHz. U medicinskoj dijagnostici koristi se ultrazvuk frekvencije između 2-12 MHz. Ultrazvuk se primjenjuje kod abdominalnog, srčanog, porodiljskog, ginekološkog, urološkog i cerebrovaskularnog pregleda, pregleda dojki te malih dijelova tkiva kao i kod pedijatrijskih i operativnih pregleda.



Slika 5. Ultrazvučni uređaj

Izvor: <https://www.gbsmed.it/index.php/it/prodotti/ecografia>

Moderni ultrazvučni aparati vrlo su složeni. Uređaji se sastoje od sonde, odašiljačkog puls generatora, kompenzacijskog pojačala, upravljačke jedinice za fokusiranje, digitalnog procesora te sistema za prikaz. Sonda je najosjetljiviji i najskuplji dio ultrazvučnog uređaja, sadrži piezoelektrične elemente-kristale koji emitiraju i primaju natrag odbijene valove zvuka.

Na taj način ultrazvučne sonde funkcioniraju kao piezoelektrični pretvarači (odašilju i prihvataju ultrazvučne valove). Ultrazvučni izvori emitiraju ultrazvučne valove određene frekvencije, koji se reflektiraju od tkiva i potom primaju putem detektora. Sonda je dio aparata koji se postavlja na kožu pacijenta iznad organa koji želimo pregledati.

Ultrazvuk je najjednostavnija i najjeftinija metoda. Njime se mogu otkriti tumori, ciste, apscesi jetara, prošireni žučni vodovi, žučni kamenci i druge bolesti. Nema ionizirajućeg zračenja pa se pretraga može ponavljati više puta. Prema dosadašnjim istraživanjima, ultrazvuk nije pokazao nikakve štetne biološke ili mehaničke efekte za ljudski organizam i u dijagnostičkim dozama pokazao se potpuno sigurnim.

Danas postoje posebno razvijene sonde za endokavitarne aplikacije, koje se uvode u tjelesne šupljine:

- transvaginalne sonde - uvode se u rodnicu za prikaz maternice i jajnika,
- transrektalne sonde - uvode se u završni dio debelog crijeva za prikaz prostate,
- transezofagealne sonde - uvode se u jednjak za prikaz srca i prsne aorte.

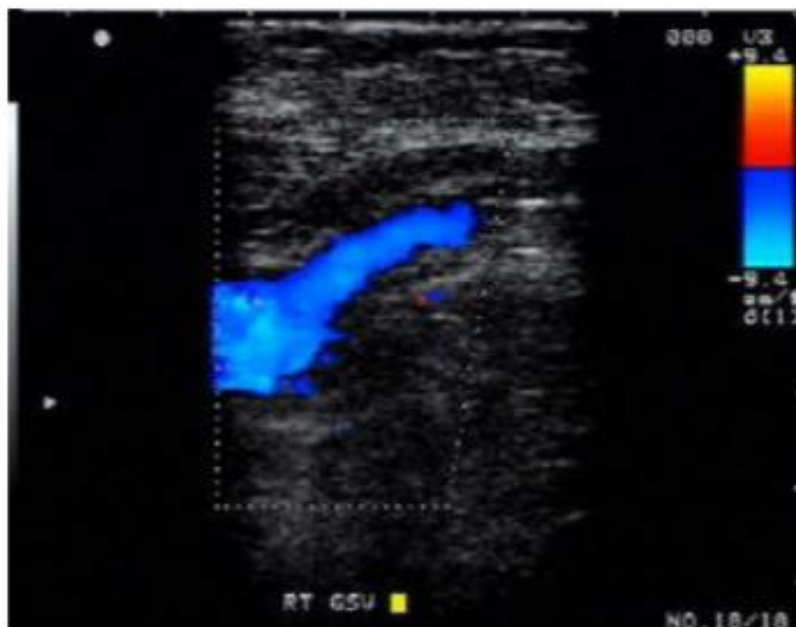


Slika 6. Vrste sonde

Izvor: <http://www.ultrazvuk.hr/pregled-ultrazvukom/>



Doppler omogućuje prikaz protoka krvi u raznim krvnim žilama u tijelu, a može mjeriti i brzinu protoka u njima. Izgled doplerskog spektra i izmjerena brzina protoka daju važne informacije o brojnim bolestima krvnih žila. Mogu se dijagnosticirati suženja ili začepljenja vena i arterija te analizirati protok krvi u bubrezima, maternici, jajnicima i drugim organima.



Slika 7. Dopplerov efekt u promatranju vene

Izvor: [https://www.fsb.unizg.hr/ndt/stud/radovi/M\\_Pecusak.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/ndt/stud/radovi/M_Pecusak.pdf)

### 3.2. Angiografija i intervencijska radiologija

Kontrastne invazivne dijagnostičke radiološke metode pregleda srca i krvnih žila obavljamo pomoću angioloških pregleda. Područje primjene se posljednjih godina stalno proširuje zahvaljujući novoj tehnologiji, digitalnoj suptrakcijskoj angiografiji (DSA).

Digitalna subtrakcijska angiografija poput konvencijske subtrakcijske angiografije pokušava povećati kontrastnost krvnih žila privremeno opacificiranih kontrastnim sredstvom u odnosu na okolne strukture mekih tkiva i kosti [1]. Indikacije za te preglede predstavljaju bolesti kardiovaskularnog aparata, centralnog živčanog sustava, sredoprsja i pluća, trbušnih organa i urogenitalnih organa.



Slika 8. Intervencijska radiologija

Izvor: <http://www.kbd.hr/odjeli/klinicki-zavod-za-dijagnosticku-i-intervencijsku-radiologiju/>

Kontraindikacije za tu vrstu dijagnostike jesu opće loše stanje pacijenta, produženo vrijeme krvarenja, smanjen broj trombocita, kao i dokazana alergija na jod, koji je sastavni dio kontrastnog sredstva. U slučaju alergijske reakcije na jodno kontrastno sredstvo, radiološki tim spreman je adekvatno intervenirati. Angiološki pregledi se moraju obavljati serijskim snimanjem radi uočavanja dinamike procesa. Uređaj digitalnog aparata razlikuje se od konvencionalnog po tome što ima samo jednu rendgensku cijev, koja služi i za prosvjetljavanje i za snimanje, te elektronsko pojačalo slike, a sve je to spojeno "C"-lukom pokretljivim u svim pravcima i s mogućnošću dinamičnog snimanja.

Prednost nove tehnologije je u tome da omogućuje brisanje svih struktura osim krvnih žila, te slike dobivene prije dolaska kontrasta od slike dobivene u vrijeme kada se kontrastno sredstvo nalazi u krvnim žilama. Dobivena suptrakcijska slika odlaze se u memoriju računala te je moguća naknadna analiza i interpretacija nalaza. Osim dijagnostike, na uređaju za angiografiju možemo provoditi i niz terapijskih postupaka izbjegavajući otvorenu kiruršku operaciju, kao na primjer proširivanje suženih krvnih žila pomoću balona na kateteru, postavljanje metalnih implantata koji će ranije mjesto suženja održati proširenim i umetaka koji premošćuju mjesto proširenja krvne žile izbjegavajući opasnost od krvarenja.

### 3.3. Kompjutorska tomografija (CT)

Kompjutorska tomografija nastaje mjerenjem apsorpcije rendgenskih zraka oko bolesnikova tijela. Tomografsko ili slojevno snimanje omogućava prikaz određenog sloja bolesnikova tijela pomoću rendgenskih zraka. Daljem razvoju ove dijagnostičke metode uvelike su pridonijeli A. M. Cormack i G. N. Hounsfield. Oni su prvi izveli tomografsko snimanje pomoću računala koje rekonstruira sliku i za taj izum dobili Nobelovu nagradu za medicinu 1979. godine. Kompjutorska tomografija se od 1973. godine upotrebljava u dijagnostičke svrhe za prikaz strukture mozga. Od tada je CT aparatura doživjela mnogobrojna poboljšanja, počela se koristiti za preglede svih dijelova tijela.

Glavni dijelovi CT uređaja su:

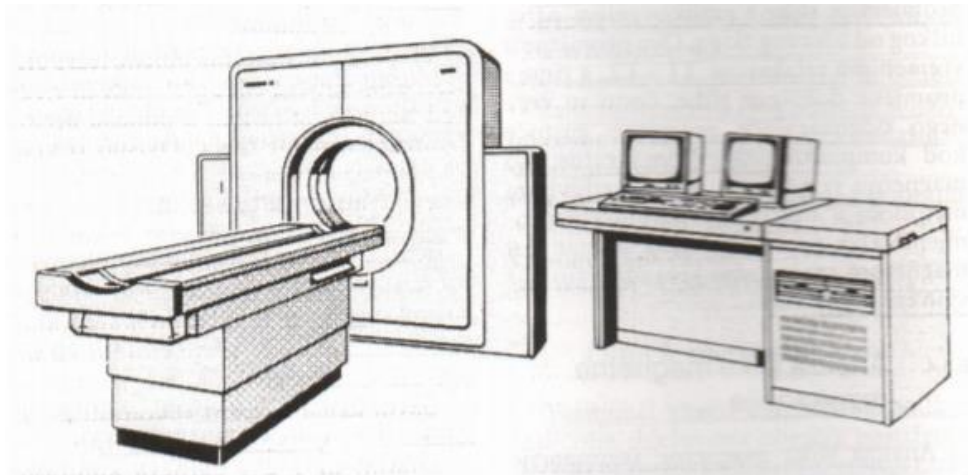
- pokretni stol na kojem leži pacijent,
- kućište u kojem se nalazi rendgenska cijev i detektori,
- generator,
- komandni stol i radni stol s monitorom za obavljanje pregleda
- računalo

CT pregled ne zahtijeva posebnu pripremu pacijenta. U tijeku CT pregleda pacijent leži na leđima te za vrijeme snimanja, preledavani dio tijela mora biti potpuno miran. CT pretraga je nezaobilazna metoda u dijagnostici bolesti mozga, kralježnice, prsnoga koša, te u dijagnostici trbušnih organa.

Za vrijeme CT pregleda rendgenska cijev se rotira oko pacijenta. Rendgenske zrake koje su prouzrokovane rendgenskim zračenjem, prolaskom kroz različita tkiva nejednako slabe, ovisno o gustoći, sastavu i debljini tkiva pacijenta. Tako nejednako oslabljeno rendgensko zračenje pada na detektore, a računalo sastavlja sliku nakon prethodne analize podataka dobivenih s detektora. Danas se na CT uređaje priključuju radne stanice s različitim programskim paketima, prilagođenim za prikaz pojedinih organa i organskih sustava. Takvi nam unaprijeđeni CT uređaji omogućavaju dvodimenzionalni te trodimenzionalni prikaz snimanog dijela tijela, što značajno unapređuje dijagnostiku.

Glavna prednost kompjutorske tomografije odnosno CT – a pred klasičnim radiološkim metodama je točna procjena veličine i odnos sa susjednim anatomskim strukturama te mjerenje gustoće pojedinog patološkog procesa. Upotrebom kontrastnih sredstava omogućen je prikaz krvnih žila.

CT dijagnostika nosi sa sobom određen rizik zbog mogućih posljedica zračenja organizma malim dijagnostičkim dozama. Zbog toga što postoji rizik o oboljenja zbog velikog broja radioloških pregleda, osnovna je prevencija postojanje opravdaane medicinske potrebe za CT pretragu. Tada je opravdano izlaganje zračenju kod CT pregleda jer donosi veću korist nego rizik pacijentu zbog posljedica zračenja.



Slika 9. CT uređaj

Izvor: Hebrang Andrija, Lovrenčić Marijan: „Radiologija“

### 3.4. Magnetska rezonancija

Magnetska rezonancija dijagnostički je uređaj koji prikazuje slojeve ljudskog tijela u transverzalnom presjeku slične slikama CT-a kao i slojeve u frontalnoj i sagitalnoj projekciji. Magnetna rezonancija se temelji na principu interakcije radiovalova i određenih atomnih jezgara u tijelu smještenom u jakom magnetnom polju [1]. Ideja magnetske rezonancije se sastoji u tome da se pojedina meka tkiva u organizmu pacijenta razlikuju prema količini vode, odnosno vodikovih atoma, što je jako povoljno za dobivanje velikih kontrasta slike. Danas se za snimanje magnetskom rezonancijom koristi termin MRI (Magnetic Resonance Imaging), umjesto starog termina NMR.

Osnovni dio svakog MRI sustava je glavni magnet. Postoji nekoliko tipova magneta (permanentni, elektromagneti), ali se najčešće koriste supravodljivi magneti od kojih se sastoji većina modernih MRI aparata. Kod takvih uređaja, koji koriste supravodljivi magnet, smanjivanjem otpora vodiča se smanjuje i količina energije potrebna za održavanje magnetskoga polja. Otpor vodiča ovisi o materijalu zavojnice te o njenoj dužini i presjeku te ovisi i o temperaturi zavojnice koju je moguće kontrolirati.

Struja se propušta kroz zavojnicu kako bi se podiglo magnetsko polje, a zatim se zavojnice hlade tekućim helijem da bi se smanjio otpor. Taj se proces naziva kriogena kupka koja okružuje navoje žice. Supravodljivi magnet proizvodi u MRI dijagnostici, snažno magnetsko polje, pri čemu ne zahtijeva velike količine električne energije, upravo zbog izostanka otpora. Sustav temeljen na takvom magnetu omogućuje stvaranje izuzetno jakih magnetskih polja od 0,5 – 4 T za medicinske potrebe te do 14 T za visokorezolutna ispitivanja.



Slika 10. MR uređaj

Izvor: [https://radiochirurgiazagreb.com/hr/mr-uredaj-siemens-magnetom-rt-pro-edition-skyra-](https://radiochirurgiazagreb.com/hr/mr-uredaj-siemens-magnetom-rt-pro-edition-skyra-3t)

3t

Jedan od većih problema kod MRI dijagnostike su „zalutala magnetska polja“. Ta polja se šire izvan granica prostorije snimanja te su zbog toga razvijene dvije vrste zaštite; aktivna i pasivna. Pasivna zaštita se postiže ugradnjom Faradeyeva kaveza u zidove sobe za snimanje i ne iziskuje velike troškove, ali ipak učinkovito zadržava magnetsko polje unutar granica, dok se kod aktivne koriste dodatni solenoidni magneti izvan kriogene kupke koji također ograničavaju magnetsko polje unutar prihvatljive površine te je zbog toga skuplji način zaštite. Pregled MRI dijagnostikom ne pokazuje štetne učinke za ljudsko zdravlje, utvrđeno je povećanje tjelesne temperature za 0,3 °C zbog primjene visokofrekvencijskih impulsa.

## **4. NEPOŽELJNO DJELOVANJE ZRAČENJA U MEDICINSKOJ DIJAGNOSTICI**

Oštećenja zračenjem se dijele na opća i lokalna mjesta. Lokalna se javljaju na ozračenim mjestima tijela. Opća su obično uvjetovana lokalnim oštećenjem tkiva, ali se posljedice zamjećuju na cijelom tijelu u obliku općih simptoma. Oštećenja se također mogu dijeliti na akutna i kronična oštećenja.

Akutna su izazvana kod jednokratnih djelovanja velikih doza zračenja i nastaju ubrzo nakon ozračivanja. Kronična mogu nastati zbog velikih doza zračenja najčešće od druge do četrnaeste godine. Kod velikog izlaganja zračenja dolazi do leukemije. Može se zaključiti da RTG najčešće dovodi do malignih bolesti i leukemije pa čak i nakon mnogo generacija.

O osjetljivosti na rendgensko zračenje ovisi dob osobe; što je pacijent mlađi to je više osjetljiviji. Neki biološki efekti mogu biti izazvani ukupno akumuliranom dozom zračenja koju je čovjek primio od vremena začeća, pa sve do dobi kada stvara potomstvo. Među najosjetljivija normalna tkiva idu stanice: germativnog sloja koštane srži, spolnih žlijezda, limfnih čvorova. Poznavanje nepoželjnih posljedica zračenja osnovni je preduvjet za pravilnu i medicinski opravdanu primjenu ionizirajućeg zračenja u medicini.

Ozračivanjem možemo smanjiti prekomjernu funkciju nekih žlijezda ili razoriti neke patološke stanice odnosno maligne tumore, i to zovemo poželjni efekt. Nepoželjni nastaje kao posljedica rendgenskih zraka. Promjene mogu nastati kod same osobe i/ili potomstva.

Danas radiološka dijagnostika predstavlja najveći umjetni izvor zračenja prosječne populacije u medicini. Mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja mora se pridržavati profesionalno osoblje koje to zračenje primjenjuje. Najbolja je zaštita za bolesnika smanjivanje rendgenskih pretraga na razumnu mjeru. U radiološkoj dijagnostici uređaji za rendgensko snimanje i uređaji za dijaskopiju te CT jako zrače, dok magnetna rezonancija i ultrazvuk ne koriste štetno ionizirajuće zračenje. Ali ipak magnetna rezonancija može biti opasna za pacijenta ako pacijent ima metalna strana tijela ili ugrađeni pacemaker.

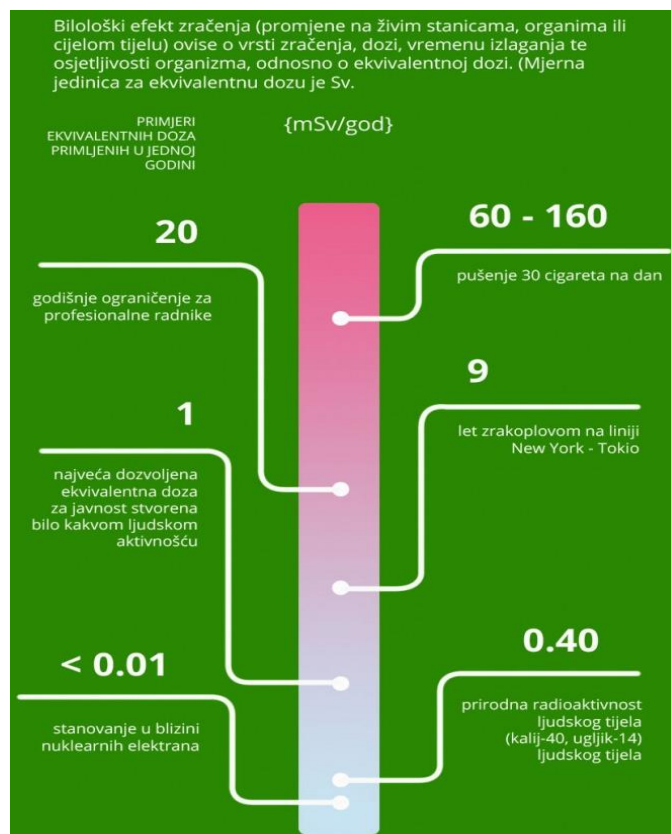
Nažalost niti jedna od svih metoda ne pokriva sve dijagnostičke potrebe. Prosječno se na godinu u Hrvatskoj napravi oko 5 milijuna različitih radioloških pregleda. Intervencijski radiološki postupci na krvnim žilama i drugim organskim sustavima brzo i jednostavno dovode do izlječenja bez većeg rizika kakav predstavljaju alternativne kirurške metode. Takva opravdana izloženost zračenju bolesniku donosi veću korist nego što je opasnost od posljedica ionizirajućeg zračenja. Svaki liječnik mora odvagati između koristi i mogućih štetnih posljedica za svakog bolesnika posebno. Nepoželjne posljedice zračenja u radiološkoj dijagnostici dijele se u 4 osnovne skupine oštećenja: karcinogeno, leukemogeno, gensko i teratogeno oštećenje radijacijom.

#### 4.1. Čimbenici koji utječu na stupanj oštećenja organizma

Postoji nekoliko čimbenika o kojima ovisi stupanj oštećenja organizma zbog izloženosti ionizirajućem zračenju. Ta energija koja se prolazom zračenja kroz materiju predaje toj materiji jest 1 eV. Omjer te energije i mase nazivamo *apsorbiranom dozom*. Količina energije predana jediničnoj masi tvari tijekom prolaska zračenja kroz nju nazivamo *apsorbirana doza*. Što je apsorbirana doza veća, to će biološki učinak biti veći. Apsorbiranu dozu označavamo fizikalnom jedinicom grej (Gy). *Efektivna doza* je proračunom izmjenjena apsorbirana doza kojom se izražava rizik izlaganja ionizirajućem zračenju uzimajući u obzir različitu biološku učinkovitost različitih vrsta ionizirajućeg zračenja te različitu osjetljivost tkiva i organa ljudskog tijela s obzirom na ionizirajuće zračenje. Fizikalna jedinica kojom se izražava efektivna doza jest jedan sivert (Sv).

Efektivna doza za cijelo tijelo dobije se zbrajanjem efektivnih doza za sva tkiva. Ona se izračunava, dok se apsorbirana doza mjeri dozimetrima. Jednaka apsorbirana doza različitih vrsta zračenja uzrokuje u istom tkivu različite učinke. Ekvivalentnu dozu dobijemo tako da apsorbiranu dozu množimo faktorom karakterističnim za tu vrstu zračenja.

Efektivna doza izloženih radnika ne smije u normalnim uvjetima tijekom rada biti veća od 100 mSv u razdoblju od pet uzastopnih godina, uz uvjet da niti u jednoj godini petogodišnjeg razdoblja efektivna doza ne smije biti veća od 50 mSv [4].



Slika 11. Biološki efekt zračenja

Izvor: <https://radioaktivniotpad.org/zasto-se-bojimo-radioaktivnosti/>

U biološkim sustavima zračenje ovisi o količini apsorbirane energije i o njenoj prostornoj raspodjeli. Osjetljivost pojedine vrste tkiva ovisi o diobi stanica u tom tkivu. Stanice koje grade mišićna, živčana i koštana tkiva vrlo se rijetko dijele te su zbog toga slabo osjetljive na izloženost zračenju. Nediferencirane stanice su puno osjetljivije na ionizirajuće zračenje zbog toga što se one neprekidno dijele. Rizik od izloženosti zračenju za sve dijelove ljudskog tijela nije isti. On varira od organa do organa. To je izraženo kroz efektivnu dozu koju nazivamo težinski koeficijent za pojedino tkivo ili organ. Oštećenja ovise o veličini dijela tijela koje je ozračeno odnosno kako je raspoređena doza u tijelu. Učinak zračenja na tijelo će biti manji ako je ozračeni dio manji. Stupanj oštećenja organizma također ovisi i o životnoj dobi i spolu osobe, što bi značilo da su mlađe osobe osjetljivije na zračenje od starijih osoba, te su žene manje osjetljivije na zračenje u odnosu na muškarce.



Jedan od bitnih čimbenika je i brzina primanja doze koji utječu na stupanj oštećenja organizma. Ako je brzina doze dovoljno mala ili je primljena u dijelovima između kojih su razmaci dovoljno dugi, tkivo će biti u mogućnosti prvom fazom diobe jezgre tjelesnih stanica odnosno mitozom nadomjestiti izgubljene stanice. Zbog toga, primljena doza koja bi odjednom imala smrtonosni učinak, ako je primljena kroz duže vremensko razdoblje neće nužno imati za posljedicu smrt. Velike doze primljene kroz duže vremensko razdoblje mogu ostaviti male ili nikakve vidljive posljedice.

#### 4.2. Stohastički i deterministički učinci ionizirajućeg zračenja

Stohastički i deterministički učinci ionizirajućeg zračenja su biološki učinci zračenja. *Deterministički učinci* su posljedica gubitka velikog broja stanica, te nastaju primjenom velikih doza zračenja i vidljivi su brzo nakon ozračenja. Da bi deterministički učinak bio vidljiv potrebna je određena količina zračenja, jačina im je ovisna o efektivnoj dozi. Smrću stanice u ljudskom organizmu onemogućuje se prijenos izmjenjene genetičke informacije na stanicu „kćerku“. Ako je postotak uništenih stanica u nekom organu velik tada funkcija organa može biti oslabljena, te tako može dovesti i do smrti organizma.

Stohastički učinci su vidljivi tek nakon određenog vremena prikrivenosti, može ih izazvati i veoma mala doza zračenja te ih se zbog toga ne može predvidjeti. Stohastički učinci bi bili mutacije, nasljedne promjene i tumori, koji nastaju u somatskim i spolnim stanicama te ih se zbog toga može prenijeti i na potomstvo. Ako se te stanice nastave dijeliti, nastati će klonovi izmjenjenih stanica. Srećom većina tih izmjenjenih stanica ne napreduje do karcinoma jer nijedna stanica ne ostaje sposobna za život nakon nekoliko dijeljenja.

Zračenje može izazvati nasljedne promjene koje mogu biti vrlo male, poput promjene u pojedinom genu, ili veće kao što su lomovi kromosoma i spajanje preostalih dijelova, te mijenjanje broja kromosoma. Biološke posljedice će biti teže što su promjene genoma opsežnije. Promjene u organizmu koje nastaju zbog promjena u genskom materijalu pojedinih stanica, mogu se ali i ne moraju dogoditi, stoga ih možemo nazvati stohastičkim promjenama. Vjerojatnost nastanka tih promjena u organizmu ovisna je o efektivnoj dozi. Što je doza manja i vjerojatnost nastanka promjena je to manja, ali ne postoji tako mala doza za koju bi vjerojatnost nastanka promjena bila jednaka nuli.

Naprimjer ako je čovjek cijelim tijelom primio veću dozu od 2 Gy, i ako nije uslijedila adekvatna pomoć, uslijedit će smrt. Znatno veće doze, poput 100 Gy ili veće, oštećuju mozak i krvne žile te smrt uslijedi nekoliko minuta nakon zračenja, pa i tijekom zračenja. Doze od 10 do 100 Gy oštete probavni trak, pa uslijedi veliki gubitak tekućine i elektrolita, a nastanu i infekcije, pa smrt uslijedi nakon 3 do 5 dana, ukoliko se pacijentu nije dala infuzija, ili presađivanje koštane srži. Doze od 2 do 10 Gy oštete najviše krvotvorno tkivo. U cirkulaciji postupno nestaju krvne stanice pa je smanjena koagulabilnost krvi odnosno nestaje trombocita u krvi te je povećana zbog toga osjetljivost na infekcije pošto nema više ni leukocita. Smrt nastupa unutar 10 do 30 dana ukoliko se nije interveniralo, a za mogući oporavak treba proći i do nekoliko godina ako je liječenje bilo ispravno.

Cilj zaštite od ionizirajućeg zračenja je spriječiti nastanak determinističkih učinaka i ograničiti pojavu stohastičkih učinaka na najmanju moguću mjeru te osigurati da pri obavljanju djelatnosti kod kojih dolazi do izlaganja ionizirajućem zračenju to izlaganje bude opravdano i odgovorno zaštićeno medicinsko osoblje te pacijent. Treba uvijek paziti da korist od izlaganja ionizirajućem zračenju bude veća nego šteta.

#### 4.3. Posljedica izlaganja ionizirajućem zračenju

Radi odlaganja energije, ionizirajuće zračenje u tkivu pacijenta može uzrokovati oštećenje ili smrt stanica. Naveli smo prije da zračenje može direktno djelovati na ozračenu osobu i na potomke ozračene osobe, prijenosom genetskog materijala. Biološki učinci zračenja ovise o učinkovitosti pojedinih vrsta zračenja i osjetljivosti tkiva na zračenje.

Kada stanica apsorbira zračenje, ona može biti toliko oštećena da prestane normalno funkcionirati i zbog toga odumre. Stanica može i izgubiti sposobnost obnavljanja te dalje živjeti, a genski materijal unutar stanice može biti toliko oštećen da su buduće kopije stanice promijenjene.

Ako je stanica tkiva ili organa promijenjena daljnjim se razmnožavanjem može takva stanica biti inicijator raka ako su ozračenjem izazvane mutacije DNK reproduktivnih stanica. Ako se prenese mutacija na potomstvo izložene osobe se obično ne vidi kod prvih potomaka, jer svaka osoba ima za isto svojstvo dva gena, svaki od jednog roditelja, a mutirani gen je u pravilu prikriven.

Štetna posljedica mutacija nastaje ako se slučajno za isto svojstvo nađu da su oba gena mutirana. Većinu oštećenja stanice poprave zato što je sustav za sprječavanje promjena u genomu vrlo djelotvoran i u većini slučajeva stanica popravlja nastala oštećenja. Od 1000 oštećenja popravi se njih 999, a od 1000 oštećenih stanica, koje stanica nije uspjela popraviti, njih 999 umire, tako da u konačnici tek jedna od 100 000 oštećenih stanica s promijenjenim genetskim kodom preživi. Na kraju se može dogoditi da zračenje uopće nije uzrokovalo oštećenje stanice. Hoće li stanica biti oštećena ili ne ovisi o razini i o brzini zračenja.

#### 4.4. Kasni i ostali učinci zračenja

Kasni učinci zračenja se javljaju kliničkim simptomima mjesecima i godinama nakon izloženosti zračenju. Glavni su kasni učinci zamućenje i katarakta leće, kronični radiodermatitis, sterilitet, deformacije novorođenčadi ranije izloženih roditelja, usporenje rasta i fizičkog ili psihičkog razvoja djece, genetske promjene uključujući i fiksirane kromosomske aberacije te povećana incidencija pojedinih malignih bolesti.

2011. godine Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja (ICRP) smanjila je prag za jednokratnu absorbiranu dozu za kataraktu sa 5,0 Gy na 0,50 Gy. Prikriveno razdoblje za nastanak promjena na leći iznosi više od 10 godina. Kronični radiodermatitis nastaje nakon radijacijske opekline te ga karakterizira atrofična, suha koža, bez dlaka i kose, teleangiektazije i pigmentacije. Promjene uzrokuje akutna lokalna doza viša od 10 Gy ili prolongirana izloženost ukupnoj dozi višoj od 20 Gy. Kromosomsko odstupanje koje se može uporno održavati desetljećima posljedica je dijagnostičkih postupaka, izvanrednih situacija i u linearnoj su ovisnosti s apsorbiranom dozom. U uvjetima profesionalne izloženosti, uz primjenu mjera zaštite na radu ne očekuju se kromosomske aberacije.

Zloćudni tumori općenito nemaju veće upadanje među izloženim radnicima u odnosu na opću populaciju, ako izloženost nije prelazila 0.1 Gy. Prema Znanstvenom komitetu Ujedinjenih naroda za učinke atomskog zračenja (UNSCEAR) male doze zračenja imaju nizak kancerogeni potencijal, a gotovo nema dokaza da uzrokuju nasljedne bolesti.

Vrste karcinoma koje se vežu s visokim dozama zračenja su leukemija, karcinom dojke, mjehura, debelog crijeva, jetre, pluća. Vremenski period između izloženosti zračenju i pojave karcinoma naziva se latentni period. Za leukemiju, minimalni vremenski period između izloženosti zračenju i pojave bolesti iznosi oko 2 godine, a za čvrste tumore prikriveni period iznosi više od 5 godina.

Ozračenje fetusa u maternici može izazvati smrt djeteta, tjelesne deformacije, mentalnu zaostalost čak i pojavu raka ili tumora. Do tih deformacija fetusa može doći ako je u ranoj trudnoći zračena zdjelica majke. Ozračenje fetusa u periodu između 8. i 15. tjedna trudnoće dovodi do snižene inteligencije djeteta čije su majke bile ozračene u tom periodu. Teratogeni učinci opisani su već iznad praga od 0.01 Sv, ako je fetus odnosno zdjelica majke bila ozračena u prvih 12 tjedana od začeća.

Zaostali razvoj koštanog sustava zabilježen je kod djece izložene terapijskom zračenju ili kod one djece čije su majke bile u području izvođenja nuklearnih pokusa. To je vrlo bitno znati jer kod ozračenja embrija u ranom preembrionalnom razdoblju (0. do 3. tjedan) odnosno embrionalnom razdoblju (od 4. do 8. tjedna trudnoće) ili u fetalnom razdoblju (od 9. tjedna trudnoće do kraja trudnoće) može doći do malformacija djeteta ili čak i smrti fetusa.

## 5. AKUTNA RADIJACIJSKA BOLEST

Akutna radijacijska bolest je oštećenje tkiva ili nekog organa prekomjernom dozom ionizirajućeg zračenja u vrlo kratkom vremenskom periodu. Ova bolest u početku liči prehladi i ima sva obilježja akutne febrilne bolesti. Akutna radijacijska bolest je uzrokovana ozračenjem cijelog tijela ili većeg dijela tijela visokom dozom ozračenja, 1 Gy ili više, u vrlo kratkom vremenskom razdoblju tj. obično nekoliko minuta. Bolest je teža što je doza ozračenja bila veća. Na zračenje su najosjetljivije stanice koje se brzo dijele; u ljudskom organizmu to su limfociti, potom stanice koštane srži, crijeva, reproduktivnih organa, pousmine kože i dr.

Ovisno o razini ozračenja, tijek je predvidiv, a traje od nekoliko sati do nekoliko tjedana. Nema specifičnog liječenja, već se poduzimaju mjere za prevladavanje oštećenja pojedinih sustava, nadoknada tekućine i krvnih preparata, antibakterijske, gljivične i antivirusne zaštite od infekcije bakterijama, gljivama i virusima i potpore oporavka oštećenih organskih sustava.

Akutna radijacijska bolest je u pravilu posljedica zračenja iz vanjskih izvora, a iznimno je posljedica ozračenja radionuklidima umetnutih u tijelo osobe. Od apsorbirane doze ovisi i klinička slika bolesti. Akutna radijacijska bolest je vrlo rijetka bolest koja obično u profesionalnoj ekspoziciji nastaje nakon nuklearnih nesreća na radu. Klinička slika i simptomi radijacijske bolesti ovise o apsorbiranoj dozi i površini izlaganja, načinu kontaminacija te osjetljivosti tkiva pogođenog zračenjem. Simptomi kod jednokratnih pojedinih efektivnih doza/ozračenje cijelog tijela su različiti. Nekoliko sati nakon ozračenja se javljaju simptomi kao što su mučnina, povraćanje i proljev te oni traju oko 2 do 3 dana. Zatim slijedi razdoblje bez simptoma koje može potrajati do 4 tjedna, ali se tokom tog perioda događaju promjene u krvnoj slici. Nakon mjesec dana dolazi do pojave bolesti kojoj klinička slika ovisi o zahvaćenim organskim sustavima. Nažalost ne postoji specifično liječenje akutne radijacijske bolesti, ta je terapija usmjerena uglavnom na prevladavanje oštećenja koštane srži i poremećaja probavnog sustava transfuzijama pune krvi i pojedinih krvnih pripravaka. Ako se bolesnici uspiju izvući dugo nakon toga se osjeća umor te se može nakon par godina pojaviti kasni učinci ozračenja kao što su oštećenja kože, zamućenje očne leće, zloćudne bolesti.

Kod ozračenja cijelog tijela dozom od 0.5 Gy javljaju se znaci oštećenja koštane srži, a to se očituje prolaznom limfopenijom. Pravi znakovi i simptomi radijacijske bolesti obično se pojavljuju kada cijelo tijelo apsorbira dozu od najmanje 1 Gy. Ozračenje cijeloga tijela dozama višim od 6 Gy smatraju se smrtonosnim u roku od dva dana do dva tjedna. Kod ozračenja velikog dijela, ali ne i cijelog tijela, postoje podaci o preživljavanju i kod apsorbiranih doza višim od 8 Gy.

Različita tkiva različito reagiraju na različite apsorbirane doze, te je zbog toga klinička slika kod različitih akutno apsorbiranih doza različita. Pri akutno apsorbiranoj dozi od 0.7 do 7.0 Gy dolazi prvenstveno do oštećenja hematopoetskog sustava, odnosno javlja se takozvani hematopoetski sindrom u kojem prevladavaju simptomi vezani uz oštećenje krvnih stanica od kojih najveću radiosenzitivnost pokazuju limfociti, zatim eritroblasti pa mijeloblasti.

Eritrociti se u cirkulaciji zadržavaju oko 120 dana te se zbog toga oni dugo nakon ozračenja nalaze u cirkulaciji te se tek kasnije vide posljedice ozračenja u vidu pada broja eritrocita. Ovaj sindrom karakteriziraju granulocitopenija, trombocitopenija i supresija imunskog sustava, a očituje se hemoragičnom diatezom, povišenim temperaturama, bakterijemijom, zimicom i tresavicom. Ozračena osoba se tuži na opću slabost i umor, te na težak tjelesni napor. Kod bolesnika se mogu javiti i bolesti poput pneumonije, raznih upala organa, gljivičnih oboljenja, te krvarenja u desni i slično.

Posljedica za preživljavanje nakon akutnog ozračenja je djelomično ozračeno tijelo, produljeno ozračenje i dostupnost pravodobnog liječenja, a nepovoljni su čimbenici velika brzina doze, velika ozračena površina i kronične infekcije.

CNS sindrom/ cirkulacijsko - neurovegetativni sindrom javlja se pri ozračenju cijelog tijela dozama većim od 20 Gy ili dozama od 40 Gy u područje same glave. Nakon ozračenja se javlja prodromalna faza u kojoj se javljaju simptomi i promjene unutar prvih nekoliko sati do dva tri dana, a zatim se simptomi povlače. Javljanje tih simptoma i promjena ovisi o apsorbiranoj dozi, ozračenoj površini te brzini doze. Nakon ove faze nastaje latentna faza koja nema simptoma, ali se događaju promjene na hematopoetskom aparatu i na sluznici crijeva koje će se kasnije u manifestnoj fazi očitovati kliničkom slikom koja odgovara razini ozračenja.

Ukoliko je ozračena osoba preživjela ranije faze, tada nastaje manifestna faza potom kasna faza odnosno faza oporavka ili smrti. U zadnoj fazi se većina pacijenata ili oporavi ili nastaje smrt. Ako akutna radijacijska bolest unutar 2 mjeseca ne završi ozdravljenjem ili smrću, tada može nastupiti kronična radijacijska bolest koja nastaje kao posljedica trajnog ozračivanja organizma malom dozom zračenja, ili kao posljedica ugradnje u organizam radionuklida dugog vremena poluraspada. Kod preživjelih pacijenata proces oporavka traje do dvije godine, a prestanak samih simptoma je postepen.

Liječenje akutne radijacijske bolesti ovisi o kliničkoj slici i tijeku bolesti kao što smo ranije naveli. Nažalost nema specifičnog liječenja već su terapijske mjere usmjerene na prevladavanje depresije koštane srži i oštećenja crijevnog epitela. Infekcije se sprječavaju izolacijom ozračenih, antibioticima, antivirusnim lijekovima, sprječavaju infekcije gljivicama, daje potporna terapija epitelu crijeva, vrši transplantacija koštane srži ako je indicirana.

Može se dati i transfuzija trombocita kada im se broj smanji ispod  $20000/\mu\text{L}$ , a anemija se korigira koncentratom eritrocita. Ako se radi na oboljenoj osobi presađivanje koštane srži ono se radi isključivo u prvom tjednu nakon ozračenja. Ozračenima se uz to obavezno mora nadoknaditi tekućina, elektroliti, te pravilna prehrana.

## 6. PREVENCIJA I ZAŠTITA OD ZRAČENJA

Svako izlaganje radijaciji je potencijalna opasnost za zdravlje izloženog pojedinca, a pogotovo zbog mogućnosti genetskih oštećenja. Rendgensko zračenje ima sposobnost ionizacije zbog čega može djelovati na živa tkiva, zbog fizikalnih i kemijskih učinaka. Te promjene koje izaziva zračenje na živim organizmima nazivamo biološkim djelovanjem zračenja te je upravo zbog toga potrebno provoditi mjere zaštite od zračenja, od pacijenata, pa do medicinskoga osoblja. Zaštita pacijenta sastoji se od pravilnog izvođenja tražene pretrage, korektnog i brzog obavljanja pretrage te korištenja zaštitnih sredstava za nesnimane dijelove tijela, kao što su olovne pregače i štitnici. Zaštita profesionalnog osoblja sastoji se od zaštitnih naprava na RTG aparaturi, zaštitnih naprava u prostoriji gdje se obavlja pregled i osobnih zaštitnih sredstava.

Liječnik treba savjesno ocijeniti da li će koristiti primjenu RTG zračenja ili neće zbog velikih rizika izlaganja pacijenta. Pretraga mora donijeti više koristi nego štete pacijentu. Pretrage bi trebale izbjegavati mlade osobe zbog RTG zračenja. Liječnik prilikom metoda pregleda treba pacijenta podvrgnuti manje opasnim metodama dijagnostike, a na kraju ako je potrebno onda će podvrgnuti pacijenta RTG zračenju.

U zdravstvenim ustanovama osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućih zračenja mora imati visoku stručnu spremu. Osoba odgovorna za zaštitu od ionizirajućih zračenja:

- provodi unutarnji nadzor nad primjenom mjera zaštite od ionizirajućih zračenja,
- skrbi o uporabi zaštitne opreme i uređaja za mjerenje osobnoga ozračenja djelatnika,
- skrbi o osiguranju i provedbi zdravstvenoga nadzora nad djelatnicima,
- skrbi o stručnoj osposobljenosti djelatnika za rad s izvorima ionizirajućih zračenja,
- skrbi o provedbi neposredna nadzora nad izvorima ionizirajućih zračenja u propisanim rokovima,
- potiče i organizira poduzimanje zaštitnih mjera u slučaju izvanredna događaja,
- sudjeluje pri inspekcijskom nadzoru i očituje se na nalaz inspektora,
- osigurava vođenje svih propisanih evidencija koje je osoba kojoj je dano odobrenje za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućih zračenja obvezna voditi [4].



Primjena zaštitne vrijednosti nekih materijala:

- Olovo – 1 mm
- Čelik – 6 mm
- Beton – 75 mm
- Cigla – 120 mm
- Drvo – 7000 mm

#### 6.1. Osobna zaštitna sredstva

Kod obavljanja RTG pretrage osobito je važan ispravan i dobar način rada rendgenskog uređaja i radnika. Svo medicinsko osoblje koje se nalazi u prostoriji s rendgenskom cijevi provodeći dijagnostički postupak i osobe koje im pritom pomažu moraju obavezno koristiti zaštitna sredstva.

U kontrolnoj sobi su radiolozi zaštićeni dobrom i kvalitetnom izvedbom prostora u kojima se koriste rendgenski uređaji. Kod rada u prostoru u kojem se nalazi sami rendgenski uređaj trebaju se obavezno koristiti i dodatna zaštitna sredstva i oprema. Pod osobna zaštitna sredstva podrazumijevaju se zaštitna sredstva koja pojedincu pri radu RTG aparata nosi na svom tijelu. Pod osobnom zaštitnom opremom kod rada sa RTG uređajem podrazumijevamo slijedeću opremu: zaštitna pregača, zaštitne rukavice, štit za štitnjaču, štitnik za podlaktice i nadlaktice, štit za spolne žlijezde, zaštitne naočale, ovratnik, razni zasloni ili zavjese sa zaštitnim učinkom, a zaštitni učinak se definira prema zaštitnom učinku olova.



Slika 12. Osobna zaštitna sredstva u radiologiji

Izvor: <https://www.universalmedicalinc.com/all-products/radiation-protection.html>

Svojstva zaštitnih sredstva propisno moraju:

- Zaštitna pregača mora izloženog radnika koji je koristi pokrivati od ključnih kostiju do polovice potkoljenice, obuhvaćajući bedra
- Zaštitni učinak pregača, ovratnika i naočala mora biti jednakovrijedan učinku olova debljine najmanje 0,25 mm
- Zaštitni učinak rukavica mora biti jednakovrijedan učinku olova debljine najmanje 0,1 mm
- Zaštitni učinak pregače pri naponu rendgenske cijevi iznad 100 kV ne smije biti manji od učinka olova debljine 0,35 mm
- Zaštitne pregače i ovratnici ne smiju se savijati i ne smiju biti oštećeni
- Cjelovitost i ispravnost zaštitnih pregača i ovratnika mora se redovito kontrolirati prema uputama proizvođača, a najmanje jednom godišnje, o čemu mora postojati pismeni dokaz. Necjelovite i neispravne zaštitne pregače i ovratnici ne smiju se koristiti [5].

Olovne naočale mogu znatno smanjiti količinu izloženosti zračenju koju radiološka tehnologija „doživljava“ njihovim očima. Primarni cilj je smanjenje količine izloženosti kojoj je radiološka tehnologija podvrgnuta tijekom svoga rada, ali prednosti od korištenja zaštitnih naočala mogu biti podcijenjene od strane samih radioloških tehničara. Jedan od primarnih uvjeta koji može spriječiti korištenje rendgenskih naočala je katarakta odnosno siva mrena. Zaštitne naočale gdje štite od opasnosti koje zračenje predstavlja za oko, može biti preporučljivo da radiološki tehničari idu iznad i izvan onoga što se zahtijeva standardima. Standardne naočale uopće ne štite od izloženosti zračenju te zbog toga koristeći dodane mjere opreza, kao što su štitovi od raspršivanja, dodatno smanjuje izloženost zračenju pritom osiguravajući još sigurnije okruženje. Preporučuje se za optimalnu zaštitu da se koriste olovne čaše ili olovni štit te zastori i rafinirana stakla kao dodatna zaštita od raspršivanja zračenja.

Rok zaštitnim rukavicama možemo produžiti tako da se ispod njih nose končane rukavice. One upijaju znoj te tako čuvaju unuarnje dijelove zaštitnih rukavica od djelovanja vlage, ujedno zaštićuju kožu radiologa od podražaja olovom zbog čega može doći do profesionalnog ekcema ruku.

Zaštitne pregače treba čuvati jer se olovna guma lako kvari i na pregibima brzo puca. Ispravnim održavanjem olovnoj se gumi može produžiti vijek. Olovnu gumu treba čuvati od topline i sunca. Napuknuta guma i rukavice propuštaju radijaciju zbog toga ih treba povremeno kontrolirati.

Pacijentu se pri RTG snimanju treba pokriti donji dio tijela pogotovo trudnicama i maloj djeci. Kod snimanja treba ukloniti sve osobe iz blizine RTG aparata. Kako bi se smanjila opasnost od pojave teških oštećenja zračenjem na profesionalnom osoblju mjeri se izloženost radnih mjesta, kontroliraju higijenski uvjeti rada i trajno vrijeme doze koje prima osoblje u toku rada: filmskim dozimetrom, i džepnim električnim dozimetrom. Važan je nadzor tehnike izvođenja poslova i zdravstveni nadzor osoblja kojem je cilj da se rano otkriju pogrešni postupci i početna oštećenja te na vrijeme poduzmu mjere za smanjenje daljnjeg izlaganja zračenju.

## 6.2. Zakonski propisi o zaštiti od zračenja

Osnovni zakon o zaštiti ionizirajućeg zračenja su:

- zabranjen rad osobama u ionizirajućem zračenju mlađima od 18 godina;
- zabranjen rad ženama za vrijeme trudnoće;
- djelatnici moraju biti zaštićeni zaštitnim sredstvima;
- savjesna zaštita gonada mlađima od 40 godina; i
- RTG pregledi žena, djece i trudnica obavljaju se na temelju nužnih medicinskih indikacija.

Zdravstvena ustanova u kojoj se provodi dijagnostička i/ili terapijska obrada bolesnika uz korištenje izvora ionizirajućeg zračenja obvezna je imenovati odgovornu osobu za provođenje mjera i postupaka iz područja zaštite od zračenja. Odgovorna osoba za poslove vezane uz zaštitu od ionizirajućeg zračenja i djelatnici u zoni ionizirajućeg zračenja dužni su:

- Poštovati sve mjere zaštite od zračenja u skladu sa zakonskim propisima.
- Obavljati redovite zdravstvene preglede djelatnika izloženih ionizirajućem zračenju.
- Osigurati dozimetrijski nadzor svim djelatnicima koji rade u zoni ionizirajućeg zračenja.
- Provoditi redovitu, zakonom propisanu edukaciju iz područja zaštite od ionizirajućeg zračenja osoba izloženih ionizirajućem zračenju, koja se provodi u dogovoru s Hrvatskim zavodom za zaštitu od zračenja.
- Nakon mjernog razdoblja (mjesečno) izvršiti zamjenu dozimetara i poslati ih na dozimetrijsko očitavanje u ovlaštenu ustanovu.
- U slučaju gubitka ili uništenja dozimetra potrebno je o tome dopisom obavijestiti odgovornu osobu i ovlaštenu ustanovu koja vrši dozimetriju. Kopiju dopisa obvezno sačuvati.
- Novozaposleni djelatnici u zoni ionizirajućeg zračenja moraju se prije početka rada prijaviti na dozimetrijski nadzor Hrvatskom zavodu za zaštitu od zračenja, a svi djelatnici koji prestaju raditi u zoni zračenja moraju se odjaviti.
- Svi uređaji koji proizvode ionizirajuće zračenje moraju imati valjanu uporabnu dozvolu. Uporabna dozvola se izdaje na razdoblje od 12 mjeseci, i potrebno ju je postaviti na vidljivo mjesto u okviru radne jedinice u kojoj je smješten izvor ionizirajućeg zračenja.
- Nepoštivanje obveze nošenja dozimetra, redovitih zdravstvenih pregleda i izobrazbe je prekršaj za koje djelatnici snose osobnu odgovornost
- Prekršajni postupak se provodi za odgovorne osobe i za djelatnike u slučaju neispravnog i ne odgovornog izvršavanja gore navedenih obveza iz područja zaštite od ionizirajućeg zračenja [5].

## 7. ZAKLJUČAK

Radijacijska sigurnost je sastavni dio radne infrastrukture bilo kojeg odjela za radiologiju. Radiolozi i rendgenski tehničari su obučeni da koriste najmanju količinu zračenja potrebnu za dobivanje rendgenskih snimaka. Važno je znati zašto je potreban pregled pacijenta i zapamtiti da su koristi od pregleda uveliko veće od rizika samog pregleda. Mnogi postupci medicinskog snimanja nemaju ili imaju vrlo nisku dozu zračenja.

Korištenje medicinske slike za prikaz i pomoć u dijagnosticiranju bolesti i ozljeda se proširilo tijekom protekla dva desetljeća. Mnogi načini snimanja primjenjuju ionizirajuće zračenje te kao posljedica toga izloženost pacijenata zračenju se povećala kako se medicinsko snimanje proširilo. Mnoge radiološke procedure koriste ionizirajuće zračenje. Postupak radiologije koji je doživio najbrži rasr i koji najviše zabrinjava je CT pretraga. CT pretraga s višestrukim detektorima i napredni protokoli revolucionirali su dijagnozu i liječenje bolesti u cijelome tijelu.

Nažalost rendgenske zrake imaju dosta negativni utjecaj na čovjeka odnosno na njegovo zdravlje i zbog toga iziskuju veliku pažnju i poštivanje strogih pravila koja se primjenjuju kod korištenja rendgenskih zraka iliti dijagnostičkih uređaja. Nepravilnim korištenjem dijagnostičkih uređaja, nepravilnim radom, zaštitom te nesavjesnošću liječnika odnosno radiologa pri ordiniranju terapije može doći do kobnih posljedica za ljudsko zdravlje. Same rendgenske zrake predstavljaju veliki rizik za čovjeka ako se koriste neispravno, zbog toga je vrlo važno da se radnici pridržavaju zakonskih i drugih propisa o zaštiti od ionizirajućeg zračenja te da se ponašaju u skladu s pravilima struke zbog zaštite vlastitog zdravlja i zaštite pacijentovog zdravlja. Djeca su posebno osjetljiva na ozljede od zračenja te zbog toga uvijek treba paziti da se doze održavaju što je moguće nižima, a da se pri tome uskladi s potrebnim dijagnostičkim informacijama.

Pacijenti se mogu susresti s brojnim potencijalnim rizicima od posjeta odjelu za radiologiju, uključujući propuštenu abnormalnost zbog tehničkih problema kao i pogreške u percepciji i komunikaciji. Stoga je dužnost radiološke zajednice da preuzme vodstvo u zaštiti pacijenata i medicinskoga osoblja od nepotrebnog zračenja. Pri tome je ključno educirati medicinsko osoblje. Radiološki nadzor izloženih radnika provodi se zbog sprječavanja kontaminacije radne i životne okoline izloženih radnika. Radiološki nadzor obuhvaća:

- detekcija izvora zračenja,
- mjerenje jačina doza svih prisutnih vrsta ionizirajućih zračenja na radnom mjestu,
- određivanje opasnih zona,
- kontrola radioaktivnih plinova u zraku radnih mjesta,
- kontrola kontaminacije radnih prostora, uređaja, radne odjeće i površina,
- kontrola individualnog zračenja za pojedino radno mjesto i ovisno o vrsti posla,
- kontrola razine zračenja okoliša izvan objekta, te transportnih sredstava i opreme za prijevoz i skladištenje radioaktivnih materijala.

Liječnici moraju osigurati da njihova znanja i vještine budu ažurirani. Radiolozi moraju obavljati svoje dužnosti u granicama svoga razumijevanja, te im to omogućuje da rade ono što najbolje razumiju, čime se smanjuje vjerojatnost izazivanja opasnosti i ozljeda. Svrha radiologa je istražiti upravljanje rizicima u radiologiji kroz temeljitu procjenu mjera za kontrolu rizika koje se koriste u odjelu za radiologiju. Glavni cilj upravljanja rizikom u medicinskim ustanovama je smanjenje i uklanjanje štete i ozljeda pacijenata kroz „ugradnju“ raznih medicinskih opreza. U praksi se ugroženost sigurnosti i kvalitete očitava u odnosu na dostupnost osoblja, radnog opterećenja i financijskih mogućnosti. Medicinska organizacija koja pruža usluge radiologije mora omogućiti inovacije i mjere koje mogu poboljšati radiologiju kako bi se mogli što bolje zaštititi pacijenti i medicinsko osoblje. Nažalost, u Hrvatskoj je nedovoljno financiranje za novu opremu na radnome mjestu, poteškoće pri zadržavanju stručnjaka, te je sve veća složenost posla i povećanog opterećenja.

## LITERATURA

- [1] Hebrang Andrija, Lovrenčić Marijan: „Radiologija“, Medicinska naklada, Zagreb, (2001.), ISBN 953-176-123-X
- [2] Elizabeth LaTorre Travis, B.S., M.Ed., Ph.D.: „Primer od Medical Radiobiology“, Mosby (1989.), ISBN 978 - 0815188377
- [3] James D. Begg: „Accident and Emergency X – rays Made Easy“, Churchill Livingstone, Edingburgh, (2004.), ISBN 978 - 0443073243
- [4] Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja, Zakon, NN 64/2006 – 1544
- [5] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, Pravilnik, NN 53/2018 – 1062
- [6] Kranjčec Monika: „Rendgenski uređaji u medicini“, Završni rad, Karlovac, (2017.)

## **POPIS SLIKA**

## **STRANICA**

Sl. 1 Shematski prikaz rada rendgenske cijevi	3
Sl. 2 Usporedba Coolidgeove rendgenske cijevi i Crookesove cijevi	3
Sl. 3 Dozimetar	6
Sl. 4 Dijelovi rendgenskog uređaja	7
Sl. 5 Ultrazvuk	8
Sl. 6 Vrste sondi	9
Sl. 7 Dopplerov efekt u promatranju vene	10
Sl. 8 Intervencijska radiologija	11
Sl. 9 CT uređaj	13
Sl. 10 MR uređaj	14
Sl. 11 Biološki efekt zračenja	17
Sl. 12 Osobna zaštitna sredstva u radiologiji	26



## **POPIS TABLICA**

## **STRANICA**

Tab.1 Spektar elektromagnetskih valova u prirodi

2